

### **Halbleitervorrichtung zum Emittieren von Licht**

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Halbleitervorrichtung zum Emittieren  
5 von Licht bei Anlegen einer Spannung.

Licht emittierende Halbleitervorrichtungen stellen heutzutage Schlüssel-  
komponenten u.a. in Vorrichtungen zum Übertragen Information, in Speicher-  
vorrichtungen, in Anzeigevorrichtungen und in Beleuchtungsvorrichtungen  
10 dar.

Im sichtbaren Spektralbereich leuchtende Halbleitervorrichtungen stellen  
hingegen keine derart hohen Leuchtintensitäten zur Verfügung. So konnten  
die ersten Leuchtdioden (LEDs) gerade genug Intensität zur Verfügung  
15 stellen, um als Anzeigelemente in frühen Taschenrechnern und digitalen  
Uhren zum Einsatz zu kommen. Gegenwärtig besteht jedoch ein Trend, im  
sichtbaren Spektralbereich leuchtende LEDs auch in Bereichen einzusetzen,  
in denen eine hohe Lichtintensität gefordert wird. Beispielsweise versuchen  
Automobilhersteller, immer mehr herkömmliche Leuchtkörper im Auto durch  
20 LEDs zu ersetzen. Als ein weiteres Einsatzgebiet für LEDs mit hoher  
Lichtintensität bieten sich bspw. Ampeln an, in denen hoch intensiv  
leuchtende rote, grüne und gelbe Emittier gefragt sind. Aber nicht nur in der  
Verkehrs- und Fahrzeugtechnik, sondern auch in der Informationsüber-  
tragung sind LEDs, die im sichtbaren Spektralbereich eine hohe  
25 Lichtintensität zur Verfügung stellen, nutzbringend einzusetzen. Beispiels-  
weise können im sichtbaren Spektralbereich hoch intensiv emittierende LEDs  
zur kurzreichweitigen Datenübertragung über Kunststofffasern Verwendung

finden. Im Gegensatz zu Glasfasern, bei denen die maximale Transmission, d.h. die maximale Durchlässigkeit für elektromagnetische Strahlung, im infraroten Spektralbereich liegt, liegt die maximale Transmission bei Kunststofffasern im grünen Spektralbereich, so dass für die Datenübertragung über Kunststofffasern insbesondere hoch intensiv grünes Licht emittierende LEDs von Interesse sind. Wichtig für die genannten Anwendungsgebiete sind dabei sowohl die Effizienz des Strahlungserzeugungsprozesses im Halbleitermaterial, da diese für die Intensität der abgegebenen Strahlung von Bedeutung ist, als auch die Wellenlänge der abgegebenen Strahlung.

Das elektrische Verhalten eines Halbleitermaterials lässt sich mit dem sog. Bändermodell beschreiben. Dieses besagt, dass den Ladungsträgern des Halbleitermaterials verschiedene Energiebereiche, die sog. Energiebänder, zur Verfügung stehen, innerhalb derer sie im Wesentlichen beliebige Energiewerte annehmen können. Verschiedene Bänder sind häufig durch eine Bandlücke, d.h. einen Energiebereich mit Energiewerten, welche die Ladungsträger nicht annehmen können, voneinander getrennt. Wenn ein Ladungsträger von einem energetisch höher gelegenen Energieband in ein energetisch niedriger gelegenes Energieband übergeht, wird eine Energie freigesetzt, die der Differenz aus den Energiewerten vor und nach dem Übergang entspricht. Die Differenzenergie kann dabei in Form von Lichtquanten (Photonen) freigesetzt werden. Man unterscheidet zwischen sog. direkten und indirekten Bandlücken. Bei einer indirekten Bandlücke müssen zwei Prozesse zusammentreffen, damit ein Übergang zwischen den Energiebändern unter Emission von Licht stattfinden kann. Daher weisen Halbleitermaterialien mit indirekten Bandlücken in der Regel eine viel geringere Effizienz beim Erzeugen von Licht auf, als Halbleitermaterialien mit sog. direkten Bandlücken, in denen zum Aussenden von Licht nur ein Prozess nötig ist.

Als Ladungsträger stehen in einem Halbleitermaterial negativ geladene Elektronen und positiv geladene Löcher, die man sich im Wesentlichen als „fehlende“ Elektronen in einem Energieband vorstellen kann, zur Verfügung.

Ein Loch kann durch den Übergang eines Elektrons aus einem anderen Energieband in das Energieband, in dem das Loch vorliegt, aufgefüllt werden. Den Vorgang des Auffüllens nennt man Rekombination. Durch Einbringen von Fremdstoffen, sog. Dotierstoffen, in das Halbleitermaterial lässt sich ein Übergewicht an Elektronen oder Löchern als Ladungsträger erzeugen. Bei einem Übergewicht an Elektronen bezeichnet man das Halbleitermaterial als n-leitend bzw. n-dotiert, bei einem Übergewicht an Löchern als Ladungsträgern als p-leitend bzw. p-dotiert. Das Einbringen von Dotierstoffen kann darüber hinaus benutzt werden, die den Ladungsträgern zur Verfügung stehenden Energieniveaus im Halbleitermaterial zu beeinflussen.

Heutzutage basieren viele kommerziell erhältliche LEDs auf Gallium-Phosphid (GaP), das ein Halbleitermaterial mit einer indirekten Bandlücke ist. Einbringen von sog. tiefen Störstellen, die man sich vereinfacht als den Ladungsträgern zugängliche Energieniveaus außerhalb der Energiebänder des GaP vorstellen kann, ermöglicht die Herstellung von LEDs auf GaP-Basis. Aufgrund der indirekten Bandlücke ist die Effizienz derartiger LEDs beim Erzeugen von Licht gering. Die tiefen Störstellen lassen sich erzeugen, indem Fremdatome wie etwa Stickstoffatome in geeigneter Weise in das GaP eingebracht werden.

LEDs, die auf GaP basieren, das mit Stickstoff (N) dotiert ist, d.h. in das Stickstoff als Dotierstoff eingebracht ist, emittieren in Abhängigkeit von der Menge an N, mit der es dotiert ist, im Spektralbereich von grün bis gelb.

LEDs, die auf GaP, welches mit Zinkoxid (ZnO) dotiert ist, basieren emittieren dagegen rotes Licht. Zwar weist mit ZnO dotiertes GaP im Vergleich zum mit N dotiertem GaP eine etwas höhere Effizienz beim Erzeugen von Licht auf, jedoch findet die Emission in einem spektralen Frequenzbereich statt, in dem das menschliche Auge relativ unempfindlich ist, so dass das emittierte Licht wenig hell erscheint. Zudem verringert sich die Effizienz des Lichterzeugungsprozesses im mit ZnO dotierten GaP mit zunehmendem Steuerstrom der LED.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Licht emittierende Halbleitervorrichtung zur Verfügung zu stellen, die insbesondere im sichtbaren Spektralbereich eine hohe Effizienz beim Emittieren von Licht aufweist.

5

Diese Aufgabe wird durch eine Licht emittierende Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1 gelöst. Die abhängigen Ansprüche enthalten vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

- 10 Eine erfindungsgemäße Halbleitervorrichtung zum Emittieren von Licht bei Anlegen einer Spannung umfasst einen ersten, einen zweiten und einen dritten, aktiven Halbleiterbereich. Der erste und der zweite Halbleiterbereich können insbesondere jeweils  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$  (Aluminium-Gallium-Phosphid) mit  $0 \leq x \leq 1$  umfassen. Während die Leitfähigkeit des ersten Halbleiterbereiches
- 15 auf Ladungsträgern eines ersten Leitfähigkeitstyps beruht, beruht die Leitfähigkeit der zweiten Halbleiterbereiches auf Ladungsträgern eines zweiten Leitfähigkeitstyps, welche eine den Ladungsträgern des ersten Leitfähigkeitstyps entgegengesetzte Ladung aufweisen. Zwischen dem ersten und dem zweiten Halbleiterbereich ist der aktive Halbleiterbereich
- 20 angeordnet, welcher insbesondere  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$  mit  $0 \leq x \leq 1$  umfassen kann, wobei in den aktiven Halbleiterbereich Quantenstrukturen eingebettet sind, die aus einem Halbleitermaterial hergestellt sind, das eine direkte Bandlücke aufweist. Dabei kann das  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$  aller Halbleiterbereiche auch einen kleinen Anteil an Arsen (As) enthalten (bis zu ca. 50%), der hier nicht weiter
- 25 erwähnt, ist aber von der Bezeichnung  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$  mit umfasst sein soll.

- Unter Quantenstrukturen sind dabei Strukturen zu verstehen, die in mindestens einer Ausdehnungsrichtung eine Abmessung aufweisen, die derart gering ist, dass die Eigenschaften der Struktur von
- 30 quantenmechanischen Vorgängen wesentlich mitbestimmt werden. Als Quantenstrukturen kommen bspw. Quantenpunkte (Quantum Dots), in denen alle Ausdehnungsrichtungen geringe Abmessungen aufweisen, Quantendrähte (Quantum Wires), in denen zwei Ausdehnungsrichtungen geringe

Abmessungen aufweisen, oder Quantenschichten (Quantum Wells), in denen eine Ausdehnungsrichtung geringe Abmessungen aufweist, in Frage.

Das Halbleitermaterial, aus dem die Quantenstrukturen hergestellt sind, kann insbesondere ein III-V-Halbleitermaterial, d.h. eine Verbindung aus Elementen der 3. und der 5. Gruppe des Periodensystems, sein, welches eine direkte Bandlücke und eine Gitterkonstante besitzt, die größer ist, als die von GaP. Dabei ist anzumerken, dass die Gitterkonstante von  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$  nicht von x abhängt und im Wesentlichen denselben Wert wie GaP besitzt. Als III-V-Halbleitermaterial eignet sich bspw. InP (Indium-Phosphid), aber auch andere Verbindungen von Elementen der 3. Gruppe, wie etwa Indium (In), Gallium (Ga) oder Aluminium (Al) mit Elementen der 5. Gruppe, wie etwa Phosphor (P), Arsen (As) oder Antimon (Sb), sind grundsätzlich geeignet.

15

Mit der erfindungsgemäßen Halbleiterstruktur zum Emittieren von Licht bei Anlegen einer Spannung lässt sich im sichtbaren Spektralbereich eine höhere Effizienz beim Emittieren von Licht erzielen, als mit Licht emittierenden Halbleiterstrukturen nach Stand der Technik. Der Grund hierfür ist folgender:

20

Die erfindungsgemäße Halbleitervorrichtung ermöglicht es im Gegensatz zu den auf GaP basierenden Licht emittierenden Halbleitervorrichtungen nach Stand der Technik, einen direkten Übergang zwischen zwei Energiebändern zum Emittieren von Licht im sichtbaren Spektralbereich zu nutzen. Der direkte Übergang erfolgt dabei in den eingebetteten Quantenstrukturen, also etwa im InP, welches eine direkte Bandlücke aufweist. Wie oben erwähnt, ist die Effizienz beim Emittieren von Licht bei einem direkten Übergang höher als bei einem indirekten Übergang, so dass die Effizienz der erfindungsgemäßen Halbleitervorrichtung zum Emittieren von Licht bei Anlegen einer Spannung über der von Licht emittierenden Halbleitervorrichtungen nach Stand der Technik liegt.

25  
30

Zudem kann beim Herstellen der erfindungsgemäßen Halbleitervorrichtung teilweise auf die Technologie von auf GaP basierenden LEDs zurückgegriffen werden.

- 5 In einer vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Halbleitervorrichtung sind die Halbleiterbereiche in Form von Halbleiterschichten eines Schichtstapels realisiert. In diesem Fall lassen sich zum Herstellen der Halbleitervorrichtung aus der Halbleitertechnik bekannte Epitaxie-Verfahren nutzen. Unter Epitaxie-Verfahren sollen hierbei alle Verfahren zu verstehen  
10 sein, mit denen eine Schicht geordnet auf eine kristalline Unterlage aufgebracht werden kann. Als Beispiele seien die Molekularstrahlepitaxie (MBE, molecular beam epitaxy) und das Abscheiden aus der Gasphase (CVD, chemical vapour deposition) genannt. Mit dem Epitaxie-Verfahren ist das beim Herstellen von auf AlGaInP oder GaP basierenden LEDs zur  
15 Anwendung kommende Bonden von Wafern, also ein Verkleben von Wafern, nicht nötig. Daher ist die Herstellung insbesondere von als LEDs ausgestalteten erfindungsgemäßen Halbleitervorrichtungen gegenüber LEDs nach Stand der Technik vereinfacht. Zudem lässt sich das Epitaxie-Verfahren gut in bestehende Prozessabläufe zum Herstellen von Halbleitervorrichtungen integrieren. Außerdem kann durch die Anwendung der Epitaxie-  
20 Verfahren das Entstehen von Fehlstellen in den Halbleiterbereichen reduziert werden. Derartige Fehlstellen würden die Emissionseigenschaften der Halbleitervorrichtung negativ beeinflussen.
- 25 Das Vorliegen eines direkten Übergangs ist in der erfindungsgemäßen Halbleitervorrichtung insbesondere dann sichergestellt, wenn die Quantstrukturen eine laterale Ausdehnung, d.h. eine Ausdehnung senkrecht zur Stapelrichtung, besitzen, die im Durchschnitt weniger als ca. 50 nm beträgt. Insbesondere liegt die durchschnittliche laterale Ausdehnung der  
30 Quantenstrukturen im Bereich zwischen 10 und 30 nm.

Insbesondere, wenn die InP-Bedeckung mindestens 0,5 Monolagen (ML) beträgt, findet die Emission im sichtbaren Spektralbereich statt. Eine Monolage entspricht dabei einer Bedeckung, die bei gleichmäßigem

Verteilen des InP über die unter den Quantenstrukturen befindliche Schicht eine in Stapelrichtung einatomige InP-Schicht ergäbe. Insbesondere kann die InP-Bedeckung zwischen 0,5 ML und ca. 10 ML, vorzugsweise zwischen 0,5 und 8 ML, und insbesondere zwischen 0,5 ML und ca. 4 ML liegen. Durch die  
5 geeignete Wahl der Bedeckung innerhalb der angegebenen Grenzen kann die Farbe des emittierten Lichtes festgelegt werden.

In einer vorteilhaften Weiterbildung der erfindungsgemäßen Halbleitervorrichtung umfasst der aktive Halbleiterbereich mehrere Unterbereiche, die  
10 verschiedene InP-Bedeckungen aufweisen. Durch geeignete Wahl der jeweiligen Bedeckung der Unterbereiche kann eine Halbleitervorrichtung erzeugt werden, die quasi weißes Licht abgibt. Die Unterbereiche können dabei insbesondere als verschiedene Halbleiterschichten ausgebildet sein. Alternativ können sie sich stattdessen auch in ihrer lateralen Anordnung  
15 unterscheiden, so dass sie verschiedene Teilbereiche einer gemeinsamen Halbleiterschicht bilden.

Die erfindungsgemäße Halbleitervorrichtung kann insbesondere als Leuchtdiode, superlumineszente Diode oder Laserdiode ausgestaltet sein. Im Falle  
20 der superlumineszenten Diode bzw. der Laserdiode bildet die erfindungsgemäße Halbleitervorrichtung den aktiven Bereich der superlumineszenten Diode bzw. der Laserdiode sowie die unmittelbar angrenzenden Bereiche. Superlumineszente Dioden und insbesondere Laserdioden lassen sich mit Hilfe der aus dem Stand der Technik bekannten tiefen Störstellen nicht  
25 realisieren.

Weitere Merkmale, Eigenschaften und Vorteile der erfindungsgemäßen Halbleitervorrichtung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels der Erfindung unter Bezugnahme auf die  
30 beiliegenden Zeichnungen.

Fig. 1 zeigt schematisch einen die Erfindung realisierenden Schichtstapel.

Fig. 2 zeigt einen Ausschnitt aus dem aktiven Halbleiterbereich der erfindungsgemäßen Halbleitervorrichtung im Detail.

Fig. 1 stellt als ein Ausführungsbeispiel für die erfindungsgemäße Halbleitervorrichtung den Schichtstapel einer Leuchtdiode dar, welcher auf ein n-dotiertes Substrat 1 aufgebracht ist. Der Schichtstapel umfasst eine n-dotierte erste Halbleiterschicht 3, die einen ersten Halbleiterbereich bildet, und eine p-dotierte zweite Halbleiterschicht 5, die einen zweiten Halbleiterbereich bildet. Die Elektronen der n-dotierten ersten Halbleiterschicht 3 stellen dabei im vorliegenden Ausführungsbeispiel die Ladungsträger des ersten Leitfähigkeitstyps dar, wohingegen die Löcher der p-dotierten zweiten Halbleiterschicht 5 die Ladungsträger des zweiten Leitfähigkeitstyps darstellen. Zwischen der n-dotierten ersten Halbleiterschicht 3 und der p-dotierten zweiten Halbleiterschicht 5 sind drei undotierte Quantenstrukturschichten 7A – 7C angeordnet, die den aktiven Halbleiterbereich der LED bilden. Zwar sind die Quantenstrukturschichten 7A – 7C im vorliegenden Ausführungsbeispiel undotiert, jedoch können sie in alternativen Ausgestaltungen des Ausführungsbeispiels auch eine n-Dotierung oder eine p-Dotierung aufweisen. Schließlich befindet sich über der zweiten Halbleiterschicht 5 eine stark p-dotierte Kontaktschicht 9 zum elektrischen Kontaktieren der zweiten Halbleiterschicht 5.

Es sei angemerkt, dass die Dotierungen des Substrates 1, der ersten und zweiten Halbleiterschicht 3, 5 sowie der Kontaktschicht 9 auch umgekehrt sein können. Die erfindungsgemäße Halbleiterstruktur würde dann ein p-dotiertes Substrat, eine p-dotierte erste Halbleiterschicht 3, eine n-dotierte zweite Halbleiterschicht 5 sowie eine n-dotierte Kontaktschicht 9 aufweisen.

Die Schichtdicken sind in Fig.1 nicht maßstäblich dargestellt. Während die Halbleiterschicht 3 eine Dicke von 200 nm und die Halbleiterschicht 5 eine Dicke von 700 nm aufweisen, weisen die drei Quantenstrukturschichten 7A – 7C zusammen nur eine Dicke von etwa 9 nm und die Kontaktschicht 9 eine Schichtdicke von 10 nm auf.



Das Substrat 1, die erste Halbleiterschicht 3, die zweite Halbleiterschicht 5 sowie die Kontaktschicht 9 sind als dotierte GaP-Schichten ausgebildet. Als Dotierstoff enthalten das Substrat 1 und die erste Halbleiterschicht 3 jeweils Silizium (Si), wobei die Si-Konzentration in der ersten Halbleiterschicht 3  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  entspricht. Die zweite Halbleiterschicht 5 und die Kontaktschicht 9 enthalten hingegen Beryllium (Be) als Dotierstoff, und zwar in einer Konzentration von  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  (zweite Halbleiterschicht 5) bzw.  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  (Kontaktschicht 9).

Eine der Quantenstrukturschichten 7A – 7C ist in Fig. 2 im Detail dargestellt. Die Quantenstrukturschicht 7 umfasst eine GaP-Schicht 11, in die InP-Inseln 13 als Quantenpunkte (Quantum Dots) eingebettet sind. Die GaP-Schicht 11 wird gelegentlich auch als GaP-Matrix bezeichnet. Die InP-Inseln setzen auf einer sog. InP-Benetzungsschicht 15 (Wetting Layer) auf, welche die gesamte Oberfläche der unter der Quantenstrukturschicht 7 befindlichen Schicht bedeckt und eine Dicke zwischen 0,1 und 0,3 nm aufweist. Die Dicke der GaP-Schicht 11 ist derart gewählt, dass die InP-Inseln 13 noch mit GaP bedeckt sind, jedoch maximal mit ca. 1 nm GaP. Insgesamt beträgt die Dicke der in Fig. 2 dargestellten Quantenstrukturschicht 7 ca. 3 nm.

Die lateralen Abmessungen der InP-Inseln 13 betragen im Durchschnitt maximal ca. 50 nm. Vorzugsweise liegt der Durchschnitt der lateralen Abmessungen im Bereich zwischen 10 und 30 nm, und die Bedeckung der unter der Quantenstrukturschicht 7 befindlichen Schicht durch das InP beträgt ca. 3,5 ML, d.h. das InP würde ausreichen, die darunter befindliche Schicht mit etwa 3,5 einatomigen InP-Lagen zu überziehen. Auf die Benetzungsschicht entfallen dabei ca. 1 ML des InP. Diese Bedeckung führt im vorliegenden Ausführungsbeispiel zur Emission von Licht mit einer Wellenlänge von ca. 600 nm. Durch Variieren der InP-Bedeckung lassen sich Leuchtdioden realisieren, die Licht im Spektralbereich zwischen orange und grün abgeben.

Bei einer Bedeckung von ca. 1,8 ML oder weniger liegen keine InP-Inseln mehr vor. Stattdessen bildet das InP eine gleichmäßige Schicht, so dass

man statt Quantenpunkten eine Quantenschicht erhält. Wenn im vorliegenden Ausführungsbeispiel von Quantenpunkten die Rede ist, sollen darunter auch Bedeckungen unter 1,8 ML zu verstehen sein, ohne dass ausdrücklich auf Quantenschichten statt auf Quantenpunkte Bezug  
5 genommen wird.

Im vorliegenden Ausführungsbeispiel sind drei Quantenstrukturschichten 7A – 7C zwischen der ersten und der zweiten Halbleiterschicht 3, 5 angeordnet. Es genügt jedoch, wenn eine derartige Quantenstrukturschicht 7 vorhanden  
10 ist. Andererseits können aber auch mehr als nur drei Quantenstrukturschichten vorhanden sein. Vorzugsweise sind drei bis fünf Quantenstrukturschichten vorhanden.

Zusammen mit den Quantenstrukturschichten 7A – 7C bilden die erste und  
15 die zweite Halbleiterschicht 3, 5 eine Leuchtdiode. In dieser treten bei einer zwischen der Kontaktschicht 9 und dem Substrat 1 geeignet angelegten und im Allgemeinen als Durchlassspannung bezeichneten Spannung Elektronen aus der ersten Halbleiterschicht 3 und Löcher aus der zweiten Halbleiterschicht 5 in die Quantenstrukturschichten 7A – 7C ein. In den Quanten-  
20 strukturschichten 7A – 7C findet eine Rekombination von Elektronen und Löchern statt, d.h. Elektronen füllen die Löcher auf. Diese Rekombination stellt für die Elektronen ein Übergang von einem energetisch höher gelegenen Energieband in ein energetisch tiefer liegendes Energieband dar. Der Übergang ist dabei ein direkter Übergang, der im Wesentlichen in den  
25 Quantenpunkten, d.h. im InP, stattfindet. Aufgrund der geringen Abmessungen der InP-Quantenpunkte ist die Bandlücke im InP viel größer als in einem großvolumigen InP-Material, so dass die Wellenlänge des beim direkten Übergang emittierten Lichtes im sichtbaren Spektralbereich liegt. Da die Bandlücke in den InP-Quantenpunkten, d.h. der energetische Mindest-  
30 abstand zwischen den beiden Bändern, und damit die Wellenlänge des emittierten Lichtes, von der InP-Bedeckung abhängt, kann durch die geeignete Wahl der InP-Bedeckung die Farbe des emittierten Lichtes im Bereich von orange bis grün variiert werden.

Zwar sind im beschriebenen Ausführungsbeispiel das Substrat 1, die erste Halbleiterschicht 3, die zweite Halbleiterschicht 5 sowie die Kontaktschicht 9 als GaP-Schichten beschrieben, jedoch können diese Schichten allgemein als  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$ -Schichten mit  $0 \leq x \leq 1$  ausgebildet sein, wobei die Werte für  $x$  von Schicht zu Schicht unterschiedlich sein können. Entsprechend brauchen die Quantenstrukturen nicht aus InP hergestellt zu sein. Stattdessen können sie als  $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ -Schichten mit  $0 \leq y \leq 0,5$ , vorzugsweise mit  $0 \leq y \leq 0,1$ , ausgebildet sein. Da  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$  im sichtbaren Spektralbereich transparent ist, kann die beschriebene Schichtstruktur insbesondere auch dazu verwendet werden, vertikal, d.h. in Stapelrichtung, emittierende LEDs zu herzustellen.

Mit Hilfe geeigneter Maßnahmen zum Einschließen des emittierten Lichtes im aktiven Bereich der Halbleitervorrichtung, bspw. durch geeignete Wahl der Brechungsindices der einzelnen Schichten, bzw. durch das Vorsehen von Facetten an der Halbleiterstruktur können mit der erfindungsgemäßen Halbleitervorrichtung inkohärentes Licht aussendende superlumineszente Dioden oder kohärentes Licht aussendende Laserdioden hergestellt werden. Die grundsätzliche Struktur von superlumineszenten Dioden und Laserdioden ist bspw. den Büchern „Spontaneous Emission and Laser Oscillation in Microcavities“, Edit. by Hiroyuki Yokoyama, and Kikuo Ujihara, CRC Press (1995)“ und „Optoelectronics: An Introduction to Material and Devices“, Jasprit Singh, The McGraw-Hill Companies, Inc., (1996)“ zu entnehmen, auf die bezüglich der weiteren Ausgestaltung der erfindungsgemäßen superlumineszenten Diode und der erfindungsgemäßen Laserdiode verwiesen wird.

Patentansprüche

1. Halbleitervorrichtung zum Emittieren von Licht bei Anlegen einer Spannung mit
  - 5 - einem ersten Halbleiterbereich (3), dessen Leitfähigkeit auf Ladungsträgern eines ersten Leitfähigkeitstyps beruht,
  - einem zweiten Halbleiterbereich (5), dessen Leitfähigkeit auf den Ladungsträgern eines zweiten Leitfähigkeitstyps, welche eine den Ladungsträgern des ersten Leitfähigkeitstyps entgegengesetzte  
10 Ladung besitzen, beruht, und
  - einem zwischen dem ersten Halbleiterbereich (3) und dem zweiten Halbleiterbereich (5) angeordneten aktiven Halbleiterbereich (7A – 7C), in den Quantenstrukturen (13) eines Halbleitermaterials mit direkter Bandlücke eingebettet sind.
- 15 2. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1, bei der erste Halbleiterbereich (3), der zweite Halbleiterbereich (5) und der aktive Halbleiterbereich (7A – 7C) jeweils  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$  mit  $0 \leq x \leq 1$  umfassen und die Quantenstrukturen (13) aus einem III-V-Halbleitermaterial hergestellt sind, das  
20 eine Gitterkonstante besitzt, die größer ist, als die von GaP.
3. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 2, bei der das III-V-Halbleitermaterial InP umfasst.
- 25 4. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1, 2 oder 3, bei der die Halbleiterbereiche in Form von Halbleiterschichten (3, 5, 7A – 7C) eines Schichtstapels realisiert sind.
5. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei der die  
30 Quantenstrukturen (13) eine laterale Ausdehnung besitzen, die im Durchschnitt weniger als ca. 50 nm beträgt.

6. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 5, bei der die durchschnittliche laterale Ausdehnung der Quantenstrukturen (13) im Bereich zwischen 10 und 30 nm liegt.
- 5 7. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 3 und einem der Ansprüche 4 bis 6, bei der die InP-Bedeckung mindestens 0,5 ML beträgt.
8. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der aktive Halbleiterbereich (7a – 7c) mehrere Unterbereiche umfasst,  
10 die verschiedene InP-Bedeckungen aufweisen.
9. Leuchtdiode mit einer Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8.
- 15 10. Superlumineszente Diode mit einer Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8.
11. Laserdiode mit einer Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8.

20

25

30

1/1

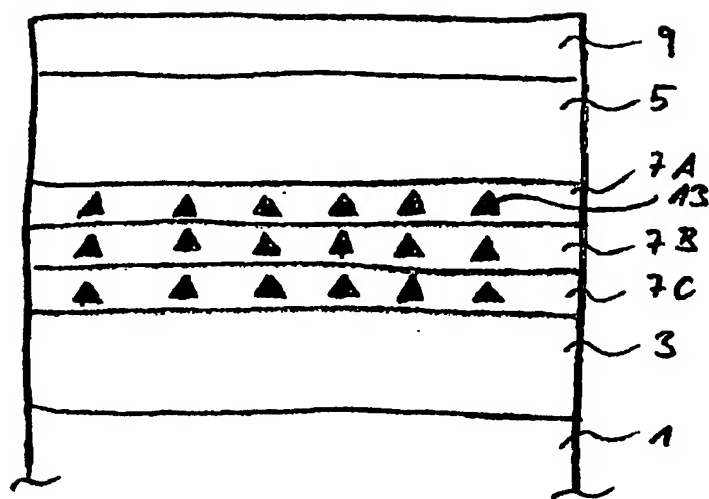


Fig. 1

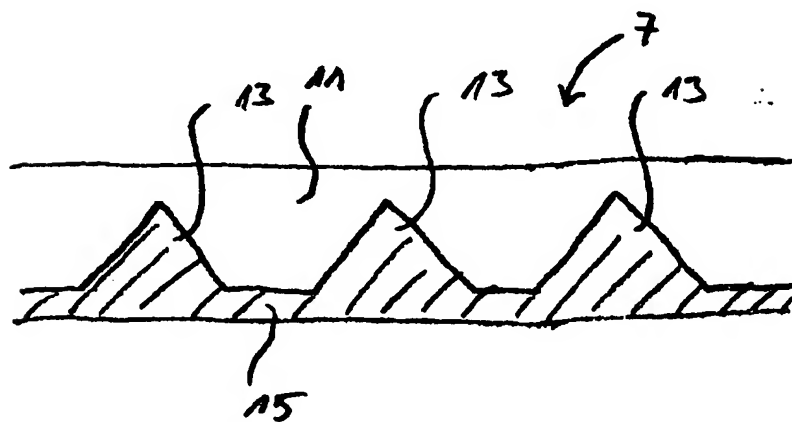


Fig. 2

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2004/011360

| <b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b><br>IPC 7 H01L33/00  |  |   |
|--|--|---|
| According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC  |  |   |
| <b>B. FIELDS SEARCHED</b><br>Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)<br>IPC 7 H01L   |  |   |
| Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  |  |   |
| Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)<br>EP0-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC  |  |   |
| <b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>  |  |   |
| Category *   | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No.   |
| X  | US 2002/136932 A1 (YOSHIDA SEIKOH)<br>26 September 2002 (2002-09-26)               | 1,4,9-11  |
| A  | paragraph '0043! - paragraph '0129!;<br>figures 1-15                               | 2,3,5-8   |
| Y  | US 2003/170927 A1 (HOLONYAK NICK ET AL)<br>11 September 2003 (2003-09-11)          | 1-7   |
| A  | paragraph '0034! - paragraph '0055!; claim<br>39; figures 5-8                      | 8-11  |
|  | -----<br>-/--  |   |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.         </div> <div> <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.         </div> </div>  |  |   |
| * Special categories of cited documents :<br><div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;"> <p>*A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>*E* earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>*L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>*O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>*P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> </div> <div style="flex: 1;"> <p>*T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>*X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>*Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.</p> <p>*G* document member of the same patent family</p> </div> </div> |  |   |
| Date of the actual completion of the international search<br><br><div style="text-align: center;">14 June 2005</div>   |  | Date of mailing of the international search report<br><br><div style="text-align: center;">23/06/2005</div> |
| Name and mailing address of the ISA<br>European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,<br>Fax (+31-70) 340-3016  |  | Authorized officer<br><br><div style="text-align: center;">Krause, J</div>                                  |

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2004/011360

| C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT |  |                       |
|--|--|-----------------------|
| Category *   | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages   | Relevant to claim No. |
| Y  | HATAMI F ET AL: "Radiative recombination from InP quantum dots on (100) GaP"<br>APPLIED PHYSICS LETTERS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, vol. 78, no. 15, 9 April 2001 (2001-04-09), pages 2163-2165, XP012027714<br>ISSN: 0003-6951<br>abstract<br>page 2163, column 1, paragraph 1 - column 2, paragraph 2  | 1-7                   |
| A  | WALTER G ET AL: "Room-temperature continuous photopumped laser operation of coupled InP quantum dot and InGaP quantum well InP&ndash;InGaP&ndash;In(AIGa)P&ndash;ash;InAlP heterostructures"<br>APPLIED PHYSICS LETTERS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, vol. 79, no. 13, 24 September 2001 (2001-09-24), pages 1956-1958, XP012028957<br>ISSN: 0003-6951<br>the whole document | 1-11                  |
| A  | "Highly efficient band-edge emission from InP quantum dots"<br>APPLIED PHYSICS LETTERS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, vol. 68, no. 22, 27 May 1996 (1996-05-27), pages 3150-3152, XP012015393<br>ISSN: 0003-6951<br>the whole document  |                       |



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No  
PCT/EP2004/011360

| Patent document<br>cited in search report | Publication<br>date | Patent family<br>member(s) | Publication<br>date |
|---|---------------------|----------------------------|---------------------|
| US 2002136932 A1                          | 26-09-2002          | JP 2003017741 A            | 17-01-2003          |
| US 2003170927 A1                          | 11-09-2003          | US 2003059998 A1           | 27-03-2003          |
|   |                     | US 2004209416 A1           | 21-10-2004          |
|   |                     | US 2004173789 A1           | 09-09-2004          |
|   |                     | CA 2455230 A1              | 13-02-2003          |
|   |                     | CN 1555570 A               | 15-12-2004          |
|   |                     | EP 1419519 A1              | 19-05-2004          |
|   |                     | JP 2004537854 T            | 16-12-2004          |
|   |                     | WO 03012834 A1             | 13-02-2003          |

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/011360

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
IPK 7 H01L33/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 H01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|--|--------------------|
| X          | US 2002/136932 A1 (YOSHIDA SEIKOH)<br>26. September 2002 (2002-09-26)                              | 1,4,9-11           |
| A          | Absatz '0043! - Absatz '0129!; Abbildungen 1-15  | 2,3,5-8            |
| Y          | US 2003/170927 A1 (HOLONYAK NICK ET AL)<br>11. September 2003 (2003-09-11)                         | 1-7                |
| A          | Absatz '0034! - Absatz '0055!; Anspruch 39; Abbildungen 5-8  | 8-11               |
|            | -/-  |                    |

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

14. Juni 2005

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

23/06/2005

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Krause, J

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP2004/011360

| C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN |  |                    |
|--|--|--------------------|
| Kategorie*   | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile   | Betr. Anspruch Nr. |
| Y  | HATAMI F ET AL: "Radiative recombination from InP quantum dots on (100) GaP"<br>APPLIED PHYSICS LETTERS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, Bd. 78, Nr. 15, 9. April 2001 (2001-04-09), Seiten 2163-2165, XP012027714<br>ISSN: 0003-6951<br>Zusammenfassung<br>Seite 2163, Spalte 1, Absatz 1 - Spalte 2, Absatz 2   | 1-7                |
| A  | -----<br>WALTER G ET AL: "Room-temperature continuous photopumped laser operation of coupled InP quantum dot and InGaP quantum well InP&ndash;InGaP&ndash;In(AlGa)P&ndash;ash;InAlP heterostructures"<br>APPLIED PHYSICS LETTERS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, Bd. 79, Nr. 13, 24. September 2001 (2001-09-24), Seiten 1956-1958, XP012028957<br>ISSN: 0003-6951<br>das ganze Dokument | 1-11               |
| A  | -----<br>"Highly efficient band-edge emission from InP quantum dots"<br>APPLIED PHYSICS LETTERS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, Bd. 68, Nr. 22, 27. Mai 1996 (1996-05-27), Seiten 3150-3152, XP012015393<br>ISSN: 0003-6951<br>das ganze Dokument  |                    |

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/011360

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument |    | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie |               | Datum der<br>Veröffentlichung |
|--|----|-------------------------------|-----------------------------------|---------------|-------------------------------|
| US 2002136932                                      | A1 | 26-09-2002                    | JP                                | 2003017741 A  | 17-01-2003                    |
| US 2003170927                                      | A1 | 11-09-2003                    | US                                | 2003059998 A1 | 27-03-2003                    |
|  |    |                               | US                                | 2004209416 A1 | 21-10-2004                    |
|  |    |                               | US                                | 2004173789 A1 | 09-09-2004                    |
|  |    |                               | CA                                | 2455230 A1    | 13-02-2003                    |
|  |    |                               | CN                                | 1555570 A     | 15-12-2004                    |
|  |    |                               | EP                                | 1419519 A1    | 19-05-2004                    |
|  |    |                               | JP                                | 2004537854 T  | 16-12-2004                    |
|  |    |                               | WO                                | 03012834 A1   | 13-02-2003                    |

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☒ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**